

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

Studium nátěrových systémů exponovaných  
v korozním prostředí

Study of Paint Systems exposed in Corrosive  
Environment

Student: Radovan Jirásk  
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Laník

Ostrava 2012

## Zadání bakalářské práce

Student: **Radovan Jirásk**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: Studium nátěrových systémů exponovaných v korozním prostředí  
Study of Paint Systems exposed in Corrosive Environment

Zásady pro vypracování:

1. Prozkoumejte typy a vlastnosti korozních prostředí.
2. Prostudujte vlastnosti nátěrových systémů.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Proveďte experimentální zkoušky a jejich vyhodnocení.
5. Zpracujte technickou zprávu.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M. Technologie povrchových úprav kovů. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1995. 151 s. ISBN 80-7078-267-6.  
PODJUKLOVÁ, J. Speciální technologie povrchových úprav I. VŠB – TU Ostrava, 1997. 71 s. ISBN 80-7078-235-8.  
KUBÁTOVÁ, H. a kol. Nátěry kovů. Praha : Grada Publishing, spol. s r.o., 2000. 104 s. ISBN 80-247-9035-1.  
Brock, T.; Groteklaes, M.; Mischke, P.: European Coating Handbook. Vincentz Verlag, Hannover, Germany, 2000.  
ČSN EN ISO 12 944. Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy.

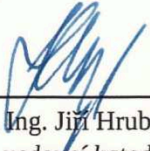
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Laník**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012




  
prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21. května 2012

  
.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21. května 2012

  
.....  
podpis

Radovan Jirásk

788 21 Kolšov č. 68

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

JIRÁSKA, R. *Studium nátěrových systémů exponovaných v korozním prostředí : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2012, 49 s. Vedoucí práce: Laník, T.

Bakalářská práce se zabývá korozí kovů a jejich ochranou prostřednictvím nátěrových systémů. Zkoumá odolnost moderních a ekologicky šetrných nátěrových systémů vůči koroznímu prostředí. Experimenty jsou provedeny s vícevrstevným nátěrovým systémem vhodným pro prostředí s korozní agresivitou na stupni C5. Ocelové substráty s aplikovaným nátěrovým systémem jsou vystaveny umělé korozní atmosféře. Korozní prostředí je reprezentováno zkouškou solnou mlhou a zrychlenou ponorovou zkouškou. Odolnost nátěrového systému je hodnocena na základě degradace nátěru a změny přilnavosti jednotlivých vrstev systému.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

JIRÁSKA, R. *Study of Paint Systems Exposed in Corrosive Environment : Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2012, 49 s. Thesis head: Laník, T.

Bachelor thesis is concerned with metals corrosion and their protection through paint systems. It examines resistance of modern and ecologically thrifty paint systems against corroding medium. Experiments are conducted with multiply paint system suitable for medium with corrosive aggression on degree C5. Steel substrates with applied paint system are exposed to artificial corrosive atmosphere. Corrosive medium is represented by salt spray test and accelerated immersion test. Resistance of paint system is evaluated in terms of paint degradation and change of adhesion of single system layers.

# Obsah

strana

Seznam použitého značení a zkratk.....	8
1 Úvod .....	9
2 Charakteristika a vlastnosti povrchu .....	10
3 Korozní prostředí.....	11
3.1 Dělení korozního prostředí .....	11
3.2 Druhy koroze.....	11
4 Protikorozní ochrana povrchu nátěrovými systémy .....	14
4.1 Dělení nátěrových systémů .....	14
4.2 Složení nátěrových systémů.....	15
4.2.1 Filmotvorné látky .....	16
4.2.2 Pigmenty a plniva.....	16
4.2.3 Těkavé složky .....	18
4.2.4 Aditiva .....	18
4.3 Nátěrové hmoty a ekologie.....	19
5 Předúprava povrchu před aplikací nátěrových systémů.....	21
5.1 Mechanické předúpravy povrchu.....	21
5.1.1 Otryskávání.....	21
5.1.2 Kartáčování.....	23
5.2 Chemické předúpravy povrchu.....	23
5.2.1 Odmašťování .....	23
5.2.2 Moření.....	24
6 Návrh experimentálních metod.....	27
7 Charakteristika experimentálních zkoušek .....	28
7.1 Vizuální hodnocení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1 .....	28
7.2 Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3 .....	28
7.3 Měření drsnosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287 .....	28
7.4 Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808.....	29
7.5 Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227 .....	30
7.6 Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru proti podkorodování dle ČSN 67 3087 .....	31
7.7 Zkoušky přilnavosti nátěrových systémů .....	31
7.8 Hodnocení degradace nátěrů.....	32
8 Charakteristika vstupních materiálů.....	33

8.1	Ocelový substrát .....	33
8.2	Nátěrový systém .....	34
8.3	Značení a specifikace vzorků .....	35
9	Výsledky experimentálních zkoušek.....	36
9.1	Vizuální hodnocení čistoty povrchu .....	36
9.2	Stanovení čistoty povrchu .....	36
9.3	Stanovení drsnosti povrchu.....	37
9.4	Stanovení tloušťky nátěrového systému.....	38
9.5	Korozní zkouška v umělé atmosféře.....	40
9.6	Zrychlená ponorová zkouška.....	42
9.7	Atmosférická zkouška .....	44
10	Závěr .....	46
11	Seznam použité literatury .....	47
12	Seznam příloh .....	49

## Seznam použitého značení a zkratk

<i>Znak</i>	<i>Význam</i>	<i>Jednotka</i>
A/B	adhezní poškození mezi podkladem a první vrstvou	[-]
B/C	adhezní poškození mezi první a druhou vrstvou	[-]
D	kohezní poškození třetí vrstvy	[-]
D/-	adhezní poškození mezi třetí a vrchní vrstvou	[-]
NH	nátěrová hmota	[-]
NS	nátěrový systém	[-]
Ra	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
Rku	špičatost posuzovaného profilu	[-]
Rp	nejvyšší výška výstupku profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
Rq	průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
Rsk	šikmost posuzovaného profilu (součinitel asymetrie)	[-]
Rv	největší hloubka prohlubně profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
Rz	nejvyšší výška profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
Y/Z	adhezní poškození mezi lepidlem a zkušebním tělískem	[-]
-/Y	adhezní poškození mezi vrchní vrstvou a lepidlem	[-]
$\lambda_c$	délka měřeného úseku	[mm]



# 1 Úvod

Člověk je v současném světě obklopen nepřehledným množstvím produktů, bez kterých si moderní život nelze vůbec představit. K jejich výrobě je používána řada přírodních i syntetických materiálů. Svě nezastupitelné místo mezi nimi zaujímají kovy a jejich slitiny. Stejně jako většina ostatních materiálů jsou i kovy znehodnocovány korozí. K zajištění dlouhodobé životnosti produktů lidské činnosti je nezbytná jejich ochrana před působením korozního prostředí. Nátěrové systémy stále patří k nejběžnějším a ekonomicky nejvýhodnějším způsobům korozní ochrany povrchů celé řady materiálů včetně kovů. Dle kvalifikovaných odhadů je až 90 % povrchu ocelových konstrukcí chráněno proti vlivům okolního prostředí právě prostřednictvím nátěrových systémů. [4]

V posledních desetiletích vstupuje do popředí stále více snaha o zodpovědnější přístup lidstva k naší planetě a uchování čistého životního prostředí i pro budoucí generace. Také v oblasti nátěrových systémů se klade stále větší důraz na používání ekologicky šetrných látek. Z receptur nátěrových hmot jsou postupně vyřazovány sloučeniny na bázi chromu nebo olova, snižuje se podíl organických těkavých látek. Prosazují se nátěrové systémy s vysokým podílem sušiny, stále širší uplatnění nacházejí nátěrové hmoty ředitelné vodou.

Na výrobce moderních nátěrových systémů jsou kladeny nemalé nároky. Nalézt alternativu za osvědčené, avšak toxické sloučeniny, mnohdy nebývá snadné. Ekologicky přijatelné sloučeniny nedosahují vždy účinků nahrazovaných látek. Jako příklad lze uvést oblast antikorozních pigmentů, ve které chromanové a olovnaté pigmenty nahradil netoxický, ale také méně účinný fosforečnan zinečnatý. Technologie v oblasti nátěrových hmot se však neustále vyvíjejí. Na trh přicházejí nové a dokonalejší nátěrové systémy. Současné disperzní systémy, založené na epoxidových, polyuretanových či akrylátových pryskyřicích, jsou odolné vůči slunečnímu záření, lze je použít i v prostředích s velmi vysokou korozní agresivitou.

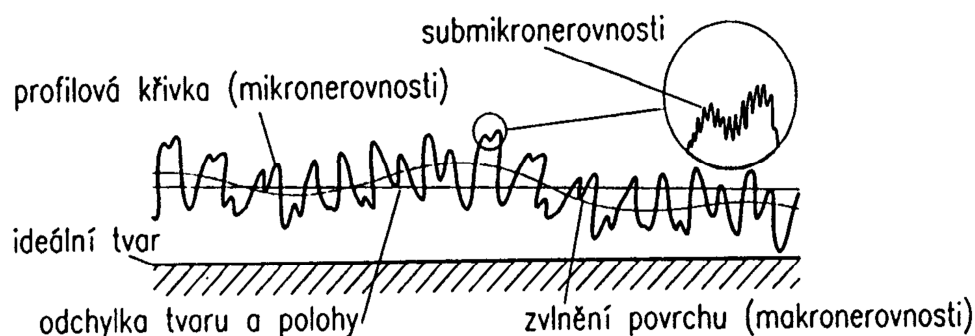
Cílem této práce je rozšířit dosavadní poznatky z oblasti povrchových úprav týkající se odolnosti současných ekologicky šetrných nátěrových systémů proti koroznímu prostředí. Na základě experimentálních zkoušek určit, jaký vliv má korozní působení na jejich vzhled, přilnavost a jakou ochranu poskytují kovovému materiálu.

## 2 Charakteristika a vlastnosti povrchu

Povrch materiálu je v bezprostředním kontaktu s okolním prostředím. Lze jej chápat jako rozhraní dvou rozdílných prostředí, na kterém dochází ke vzájemné interakci pevných, kapalných a plyných fází. K této interakci v mnoha případech nedochází pouze na samotném povrchu, ale také v oblasti pod povrchem materiálu, která se označuje jako povrchová vrstva. Fyzikálně je povrch materiálu i v případě chemicky čistého kovu velmi složitým systémem. Zatímco uvnitř materiálu jsou přitažlivé a odpuzivé síly působící mezi jednotlivými atomy ve vzájemné rovnováze, na povrchu je situace jiná. Síly působící mezi povrchovými atomy jsou větší a různá orientace krystalografické mřížky a povrchu vytváří povrchové napětí. [2] Aby byl povrch stabilní, musí být tato energie minimální. Z tohoto důvodu se atomy snaží zaujmout novou z energetického hlediska výhodnější polohu. Výsledný povrch pak není zcela rovinný, ale je tvořen soustavou drobných plošek. Uspořádání atomů v rovině povrchu tak může být odlišné od struktury uvnitř krystalu. [3]

Geometrie technicky upraveného povrchu se od představy dokonale rovného povrchu liší ještě výrazněji vlivem působení vnějších sil a prostředí. Z tohoto pohledu se nerovnosti technických povrchů dělí:

- Makronerovnosti – trhliny, náhodné nepravidelné rýhy nebo nerovnosti výkovků a odlitků.
- Vlnitost povrchu - periodicky se opakující nerovnost, která vzniká především při obrábění jako důsledek vzájemného pohybu obrobku, stroje a nástroje.
- Drsnost povrchu - pravidelně se opakující mikronerovnost, která je dána technologickým postupem.
- Submikronerovnosti – nerovnosti na úrovni krystalické mřížky vznikající v důsledku změny polohy povrchových atomů. [2]



**Obr. 1** - Geometrie technicky upraveného povrchu. [3]

### 3 Korozní prostředí

Norma ČSN EN ISO 8044 „*Koroze kovů a slitin. Slovník*“ definuje korozi jako fyzikálně-chemickou interakci kovu a prostředí vedoucí ke změnám vlastností kovu, které mnohdy vyvolávají zhoršení funkce kovu, prostředí nebo technického systému, jehož jsou kov a prostředí složkami. Z tohoto lze vyvodit, že průběh koroze je závislý nejen na struktuře a vlastnostech základního materiálu, ale především na prostředí, kterému je povrch materiálu vystaven.

#### 3.1 Dělení korozního prostředí

Z hlediska korozního prostředí se rozlišuje koroze v atmosféře, koroze ve vodě, plynech a koroze v půdě. Nezbytnou podmínkou pro vznik koroze v přírodních podmínkách je přítomnost vody a kyslíku. Nezanedbatelnou roli má rovněž teplota. K atmosférické korozi dochází v důsledku kondenzace vzdušné vlhkosti na povrchu materiálu. Ke vzniku slabého filmu elektrolytu postačuje 70 až 80 % relativní vzdušné vlhkosti. [4] Rychlost koroze závisí i na míře znečištění ovzduší látkami, kterými jsou sloučeniny síry a chlóru (například oxid siřičitý, chlorid sodný, aj.). Podle úrovně znečištění atmosféry lze dle normy ČSN ISO 9226 „*Koroze kovů a slitin. Korozní agresivita atmosféry. Stanovení rychlosti standardních vzorků pro určení korozní agresivity*“ stanovit stupně korozní agresivity prostředí v rozsahu C1 až C5, přičemž vyšší číslo značí vyšší korozní agresivitu. Stupeň C5 se dělí na C5-I (průmyslová) a C5-M (přímořská).

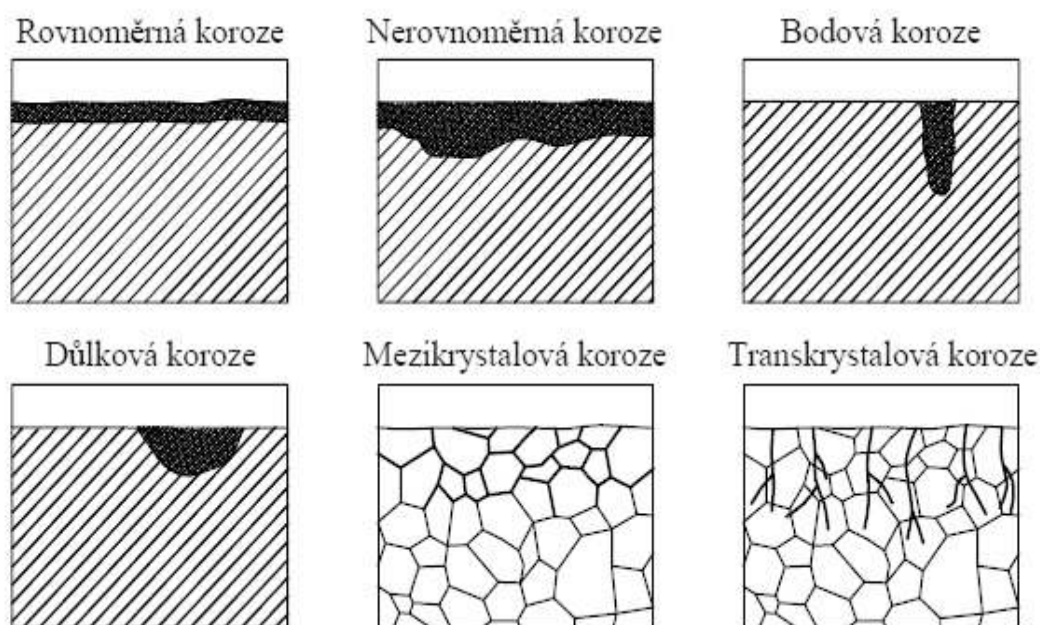
Ve vodách ovlivňuje rychlost koroze množství a druh rozpuštěných látek, obsah kyslíku a teplota. V přírodních podmínkách se jedná o vodu sladkou nebo slanou, přičemž s rostoucí salinitou vzrůstá také korozní agresivita. V technické praxi jsou to pak vodní roztoky nejrůznějších chemikálií kyselého nebo zásaditého charakteru. Jedná se převážně o elektrochemickou korozi, tedy o korozi spojenou s přenosem elektrického náboje v elektrolytu za vzniku galvanického článku. Naproti tomu koroze v plynech je převážně chemická. Zásadní vliv má i teplota a tlak, přesněji hodnota parciálního tlaku oxidační složky plynu. [3] Korozní působení v půdách je ovlivňováno obsahem minerálních a organických látek, vody a stupněm provzdušnění půdy.

#### 3.2 Druhy koroze

Podle vzhledu lze korozi rozdělit na rovnoměrnou a nerovnoměrnou. Rovnoměrná koroze způsobuje na celé ploše materiálu stejné úbytky. Z hlediska spolehlivosti stroje

nebo zařízení se jedná jednoznačně o příznivější stav, než je tomu v případě nerovnoměrné koroze. Korozní úbytek materiálu se určuje experimentálně pomocí korozních zkoušek, v rámci kterých jsou vzorky zkoumaných materiálů vystaveny skutečnému koroznímu působení. Hodnocení zkoušek závisí na zvolené metodě. Mezi nejběžnější lze zařadit hodnocení hmotnostních změn spočívající v rozdílu hmotnosti před a po expozici s přesností na 1 mg. [5]

Nerovnoměrná koroze se dále dělí dle charakteru svého působení a výskytu. Důlková a bodová koroze vzniká místním poškozením pasivní vrstvy v prostředích obsahujících ionty chlórů případně dalších oxidujících látek. Důlkové napadení se od bodového odlišuje poměrem povrchové plochy a hloubky zasažení. Průměr důlku je při důlkové korozi větší než jeho hloubka. S bodovou korozi úzce souvisí koroze štěrbinová, která se šíří v jemných kapilárách nebo ve štěrbinách. Selektivní korozní napadení se vyskytuje u slitin obsahujících více fází. Koroze se při něm omezuje jen na vybranou fázi, která se ve většině případů od ostatních fází liší svým chemickým složením. Velmi nebezpečnými jsou také mezikrystalická a transkrystalická koroze, protože probíhají pod povrchem materiálu a nejsou zjistitelné běžným vizuálním pozorováním. Mezikrystalová koroze je typická pro korozivzdorné austenitické ocele. Při ohřevu těchto ocelí na 500 až 800 °C, například při svařování, dochází k jejich zcitlivění, tedy snížení obsahu chromu na hranicích zrn. Koroze pak probíhá rychleji na hranicích než uvnitř samotných zrn. [3]



**Obr. 2** - Schémata vybraných druhů koroze. [6]

Podle charakteru probíhajících dějů lze korozi rozlišit na korozi chemickou a elektrochemickou. Chemická koroze probíhá v elektricky nevodivých prostředích, jakými

jsou plyny nebo bezvodé organické tekutiny. Charakteristickým rysem je vznik produktů koroze na povrchu materiálu. Typickým příkladem chemické koroze je oxidace, při které se na povrchu materiálu vytváří vrstva oxidů. Pokud je vznikající vrstva pórovitá nebo z povrchu snadno odpadá, může oxidace probíhat až do úplného rozpadu materiálu. Jestliže bude zoxidovaná vrstva nepropustná, reakce se zpomalí nebo zcela zastaví. K elektrochemické korozi dochází v prostředí elektricky vodivém, tedy ve vodních roztocích kyselin, zásad a solí. V elektrolytu dochází k disociaci iontů za vzniku galvanického článku a anodickému rozpouštění materiálu.

Z hlediska rozhodujících korozních činitelů rozlišujeme korozi při napětí a za únavy materiálu. Koroze při napětí se rozumí korozní praskání, které vzniká za současného působení napjatosti materiálu a korozního prostředí. Ke koroznímu praskání jsou náchylné uhlíkové oceli a slitiny mědi. V případě korozní únavy se jedná o současně korozní a mechanické namáhání se střídavým směrem působení napjatosti. Mez únavy závisí na frekvenci změn napjatosti a na době, po kterou je materiál vystaven účinkům korozního prostředí.

## 4 Protikorozní ochrana povrchu nátěrovými systémy

Jedná se o nejrozšířenější, nejsnadnější a také ekonomicky nejvýhodnější způsob ochrany povrchů materiálu před korozním působením okolního prostředí. Nátěrové systémy na povrchu kovu vytvářejí nepropustnou bariéru omezující pronikání vody a dalších agresivních látek k povrchu. Protože jsou nátěrové hmoty pórovité, obsahují rovněž antikorozní pigmenty a inhibitory, které působí uvnitř ochranného povlaku a tím zpomalují korozní procesy. Bariérový a adhezní mechanismus ochrany materiálu závisí na druhu nátěrového systému. Inhibiční mechanismus se projevuje u nátěrových hmot obsahujících antikorozní pigmenty případně další aktivní látky. U moderních nátěrových systémů se uplatňuje také elektrochemický mechanismus ochrany, který je podmíněn vysokým obsahem zinkového prášku. [4] Pro maximální ochranu a z toho plynoucí dlouhodobou životnost je důležitá volba vhodného nátěrového systému pro konkrétní podmínky.

### 4.1 Dělení nátěrových systémů

Existuje několik hledisek, na základě kterých lze nátěrové systémy rozdělit. Podle základní pojivové báze jsou to nátěrové hmoty:

- asfaltové,
- polyesterové,
- celulózové,
- chlórkaučukové,
- silikonové,
- lihové,
- olejové,
- syntetické,
- polyuretanové,
- vodové a emulzní. [4]

Pod pojmem syntetické nátěrové hmoty se skrývají pojiva různých bází, například alkydová, epoxysterová a další. Na základě charakteristických vlastností lze nátěrové hmoty rozdělit na transparentní, což jsou laky vytvářející průhledný film, a na pigmentované, ke kterým se řadí emaily, barvy a tmely. Podle pořadí aplikace existují nátěrové hmoty:

- napouštěcí,

- vyrovnávací,
- základní,
- podkladové,
- vrchní.

Napouštěcí nátěrové hmoty slouží pro přípravu savých podkladů, jakými jsou například dřevo, papír, zdivo nebo beton. Vyrovnávací nátěrové hmoty se užívají k zaplnění případných nerovností v základním materiálu pro dosažení hladkého povrchu. Základní nátěrová hmota je první aplikovanou vrstvou. Jejím úkolem je vytvořit pevné spojení mezi povrchem materiálu a vlastním nátěrovým systémem. Podkladové nátěrové hmoty neboli mezivrstvy se aplikují v případě potřeby mezi základní a vrchní nátěrovou hmotu. Jejich použití však v současné době již ztrácí na významu. Vrchní nátěrové hmoty jsou finální krycí vrstvou v nátěrovém systému, které lze podle výsledného vzhledu rozdělit na matné a lesklé. [4]

Dalším hlediskem pro rozdělení nátěrových hmot je způsob, jakým dochází ke tvorbě nátěrového filmu. Jedná se o nátěrové systémy zasychající chemickými nebo fyzikálními pochody. Při fyzikálním způsobu dochází k tunutí v důsledku odpaření rozpouštědla. Složení pojiva se při tom nemění. K typickým představitelům patří nátěrové hmoty lihové, nitrocelulózové a hmoty na bázi asfaltů. V případě chemického vysychání probíhají v nátěrové hmotě chemické reakce, například se vzdušným kyslíkem, při kterých z původních nízkomolekulárních látek vznikají makromolekuly. K vytvrzování nátěrů však dochází z části také fyzikálním způsobem, kdy chemické reakce probíhají až po odpaření těkavých látek. Do chemicky zasychajících nátěrových hmot řadíme hmoty epoxidové, polyuretanové a některé typy speciálních nátěrových hmot. [4]

Podle účelu použití lze nátěrové hmoty rozdělit na vnitřní, vnější a speciální. Nátěrové hmoty pro vnitřní použití nejsou odolné vůči slunečnímu záření a povětrnostním podmínkám. Jsou určeny pouze pro použití v interiérech. Venkovní nátěrové hmoty jsou více či méně odolné jak vůči povětrnostním vlivům, tak i slunečnímu záření. Pojem speciální nátěrové hmoty zahrnuje hmoty odolné vůči některým agresivním látkám, například kyselinám, nebo vůči extrémnímu prostředí, například nátěry odolávající vyšším teplotám. [4]

## 4.2 Složení nátěrových systémů

Dnešní nátěrové hmoty jsou směsí velkého množství nejrozumnějších látek, které lze podle jejich specifické funkce rozdělit do čtyř základních skupin.

#### 4.2.1 Filmotvorné látky

Jedná se o pojiva a změkčovadla, které tvoří podstatnou část nátěrových hmot. Jejich hlavní funkcí je vytvoření nátěrového filmu. Zvolený druh pojiva ovlivňuje mechanické i estetické vlastnosti nátěrového filmu, proto se požadovaného výsledku velmi často dosahuje kombinací několika různých filmotvorných látek. Dříve se jako pojiva hojně používaly přírodní pryskyřice získávané z rostlin nebo hmyzu. V současné době mají z čistě přírodních materiálů širší uplatnění pouze kalafuna, celulóзовé deriváty a zejména minerální oleje, které jsou základní surovinou pro výrobu alkydových pryskyřic. Moderní nátěrové hmoty jsou vyráběny na bázi syntetických pryskyřic.

- Epoxidové pryskyřice – užívají se pro dvousložkové nátěrové systémy. Vyznačují se vysokou chemickou odolností, tvrdostí a houževnatostí. K jejich vytvrzování jsou vhodné pryskyřice na bázi polyaminů.
- Polyuretanové pryskyřice – rovněž se užívají pro dvousložkové nátěrové systémy. Nátěrové hmoty díky nim získávají výbornou odolnost vůči mechanickému namáhání a vůči vodě.
- Epoxyesterové pryskyřice - vyrábí esterifikací epoxidových pryskyřic. V kombinaci s pryskyřicemi na bázi melaminu dosahují po vypálení vynikající odolnost proti vodě.
- Silikonové pryskyřice - pojivo pro vypalovací nátěrové systémy. Dávají nátěrům vynikající elektroizolační vlastnosti a odolnost vůči vysokým teplotám.
- Akrylátové pryskyřice - získávají se esterifikací kyseliny akrylové a metylakrylové. V současné době se jedná o nejmodernější pojivo, které se používá především pro vodou ředitelné nátěrové hmoty.
- Melaminformaldehydové a močovinoformaldehydové – připravují se kondenzací melaminu a močoviny s formaldehydem. Používají se pouze v kombinaci s jinými pojivy, přičemž zlepšují chemickou odolnost, mechanické a estetické vlastnosti.
- Alkydové pryskyřice – jedná se o polyestery různých organických kyselin v kombinaci s rostlinnými oleji. Téměř výlučně se používají v kombinaci s dalšími pojivy. [4]

#### 4.2.2 Pigmenty a plniva

V případě pigmentů se jedná o látky nerozpustné v pojivech nebo rozpouštědlech, pomocí kterých získávají nátěrové hmoty barevný odstín a neméně důležitou krycí schopnost. Zejména u nátěrových systémů pro vnější prostředí se vyžaduje dobrá



světlostálost a odolnost vůči povětrnostním vlivům ve vztahu k zachování původního barevného odstínu. Pigmenty mohou být organického i anorganického původu.

K základním bílým pigmentům patří titanová běloba, ve své podstatě oxid titaničitý. Pro své vynikající krycí a barvicí vlastnosti postupně vytlačuje ostatní bílé pigmenty. Vyskytuje se ve dvou základních typech – anatasové a rutilové, přičemž rutilové typy mají vyšší užité vlastnosti. Dalším bílým pigmentem je zinková běloba, což je směs oxidu zinečnatého (min. 99 %) s přídavkem kovových sloučenin. Přestože z ekonomických důvodů ustupuje do pozadí, stále se používá pro některé své jedinečné vlastnosti. Zvyšuje tvrdost a trvanlivost lesku nátěrového filmu, zpomaluje žloutnutí nátěru a snižuje jeho propustnost pro oxid siřičitý. [4]

V oblasti pestrých pigmentů se ještě nedávno používaly chromanové pigmenty. Pro jejich škodlivý vliv na lidský organismus a životní prostředí jsou v současné době nahrazovány organickými pigmenty, které však nedosahují tak dobrých užitečných vlastností. Svě místo tu mají železité pigmenty, což jsou směsi oxidů a hydroxidů. Mají vysokou barvivost i krycí schopnost, dobře odolávají povětrnostním vlivům. Nejpoužívanějším černým pigmentem jsou saze. Jedná se o téměř čistý uhlík získávaný nedokonalým spalováním nejrůznějších organických látek, zejména plynů.

Zvláštní místo pak zaujímají antikoroční pigmenty. Na místo v minulosti používaných látek na bázi olova a chromu, jsou v moderních nátěrových systémech používány netoxické, inertní látky. Jedná se o fosforečnan zinečnatý a jeho modifikace, který lze použít i pro vodou ředitelné nátěrové hmoty. Pro své vynikající antikoroční vlastnosti má své uplatnění také kovový zinek. Nátěrové systémy s vysokým obsahem zinkového prachu chrání kov proti korozi i v místech, kde došlo k drobnému poškození nátěru. Dále se používají takzvané jádrové pigmenty, které využívají skutečnosti, že antikorozně působí pouze povrch částice pigmentu, zatímco její jádro je nevyužité. Na jádra se při výrobě tohoto typu pigmentu používá levnější inertní materiál, který se pokryje aktivní antikoroční látkou. Při srovnatelném antikoročním efektu tak dochází k nemalé úspoře deficitních surovin. [4]

Plniva jsou pevné částice zesilující strukturu povlaku a zlepšující kvalitu výsledného nátěrového filmu. Jedná se o jemně rozemleté minerální látky s dobrou chemickou stálostí, jakými jsou například kaolin, talek nebo těživec. Kaolin zvyšuje pevnost nátěru a zabraňuje jeho praskání. Způsobuje tixotropii nátěrové hmoty, čímž omezuje stékání barvy při nanášení a zabraňuje sedimentaci pigmentů a ostatních plniv při skladování. Talek rovněž působí proti rozpraskávání nátěrů, zvyšuje mechanickou pevnost a brání sedimentaci. Naopak těživec, s ohledem na svou vysokou hustotu, má při skladování

nátěrové hmoty sklony k sedimentaci. Jedná však o kvalitní bílé plnivo s výbornou chemickou stálostí.

#### 4.2.3 Těkavé složky

Jedná se převážně o kapalné sloučeniny organického původu schopné rozpouštět tuky, oleje, vosky, přírodní i synteticky získané pryskyřice. Chemické vlastnosti těkavých složek se rozpouštěním uvedených látek nemění. Jsou nezbytné pro rozpouštění filmotvorných látek při výrobě a rovněž pro úpravu viskozity nátěrových hmot při následném nanášení.

- Lakový benzin - je základním rozpouštědlem pro nátěrové hmoty asfaltové, olejové a syntetické alkydové.
- Toluén - používáný pro výrobu nitrocelulózových a silikonových nátěrových hmot.
- Xylen - vhodný pro rozpouštění nátěrových hmot na bázi alkydových, chlorkaučukových a silikonových pryskyřic.
- Alkoholy – pro lihové nátěrové hmoty zejména ethanol, pro nitrocelulózové systémy butanol.
- Estery – zejména etylacetát a butylacetát jsou vynikající rozpouštědla pro širokou oblast lakařských pryskyřic.
- Ketony - například aceton nebo metyletyketon, jsou rovněž výborná rozpouštědla pro většinu lakařských pryskyřic, avšak s ohledem na jejich vyšší toxicitu mají jen omezené použití.
- Glykolétery - jsou mísitelné s vodou, a proto se užívají pro vodou ředitelné nátěrové hmoty. [4]

Z uvedeného výčtu je patrné, že rozpouštědla a ředidla jsou látky různorodého chemického složení. Všechna však mají společný rys. Svému účelu slouží jen velmi krátkou dobu a po aplikaci nátěrové hmoty se odpaří do okolí. Z ekonomických a hygienických důvodů je proto snižování těkavých organických látek (VOC) trendem ve vývoji moderních nátěrových hmot.

#### 4.2.4 Aditiva

Poslední skupinu látek obsažených v nátěrových systémech tvoří nejrůznější pomocné látky, které jsou souhrnně označovány jako aditiva. S jejich pomocí lze

zlepšovat širokou škálu vlastností nátěrového systému. Přispívají k lepšímu rozlivu, zabraňují vyplavování pigmentů. Při skladování nátěrových hmot zabraňují želatinaci, usazování pigmentu, tvorbě škraloupů. Mohou zvýšit odolnost nátěrů proti povětrnostním vlivům, proti jejich napadení mikroorganismy. Podle jejich specifických účinků je lze rozdělit na pomocné látky, zahušťovadla, iniciátory, katalyzátory, urychlovače a inhibitory. Přestože se jejich obsah v nátěrových systémech pohybuje v desetinách procent, moderní nátěrové systémy si bez jejich přítomnosti nelze představit. [4]

### 4.3 Nátěrové hmoty a ekologie

Postupné omezování emisí těkavých organických látek (Volatile Organic Compound) vznikajících při používání organických rozpouštědel je pro státy Evropské unie závazné na základě dvou směrnic Evropského parlamentu a Rady Evropské Unie. Jedná se o Směrnici Rady 1999/13/ES týkající se omezování emisí VOC při některých činnostech a v některých zařízeních, a Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2004/42/ES, která omezuje emise VOC v některých barvách a lacích a výrobcích pro opravy nátěrů vozidel. Těkavou organickou látkou se dle této směrnice rozumí jakákoliv organická sloučenina nebo směs organických sloučenin, s výjimkou methanu, jejíž počáteční bod varu je menší nebo roven 250 °C při normálním atmosférickém tlaku 101,3 kPa.

V České republice jsou uvedené směrnice zapracovány do prováděcí vyhlášky Zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, Vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 337/2010 Sb., o emisních limitech a dalších podmínkách provozu ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší emitujících a užívajících těkavé organické látky a o způsobu nakládání s výrobky obsahujícími těkavé organické látky. Předmětem úpravy uvedené vyhlášky jsou:

- emisní limity, podmínky provozu a kategorie ostatních stacionárních zdrojů emitujících VOC
- způsob nakládání s výrobky obsahující VOC
- zásady a náležitosti evidence a bilancování spotřeby VOC
- náležitosti a způsob zpracování plánu snížení emisí VOC

Zdroji spadajícími do působnosti této vyhlášky jsou také výroba a aplikace nátěrových hmot. Vyhláškou se stanovují nejvyšší přípustné hodnoty obsahu VOC, a to jak pro vodou ředitelné tak i rozpouštědlové nátěrové hmoty. Na trh mohou být uvedeny pouze výrobky, které nepřekračují dané hodnoty. Stejně jako u dalších výrobků s obsahem VOC musí být nátěrové hmoty opatřeny štítkem s uvedením kategorie a subkategorie výrobku, nejvyšší přípustné hodnoty obsahu VOC v gramech na litr (g/l) a maximálního obsahu VOC v g/l

výrobku připraveného k použití. Výrobky obsahující více jak 3 hmotnostní procenta VOC musí mít v průvodní technické dokumentaci nebo na štítcích nátěrových hmot navíc uveden celkový obsah VOC v hmotnostních procentech nebo v kg/kg produktu, obsah sušiny v hmotnostních nebo objemových procentech a v případě objemových procent také hustota produktu v  $\text{g/cm}^3$ . Jedná se o údaje nezbytné pro vedení roční hmotnostní bilance VOC, povinnosti týkající se vyhláškou stanovených subjektů.

## 5 Předúprava povrchu před aplikací nátěrových systémů

Výsledný vzhled a především životnost nátěrového systému ovlivňuje stav povrchu základního materiálu. Na povrchu materiálu se nacházejí různé druhy nečistot, které lze rozdělit do dvou základních skupin.

- Nečistoty vázané fyzikálními silami - například mastnoty, zbytky past a prachové částice.
- Nečistoty vázané chemicky - zejména rez, okuje a oxidy.

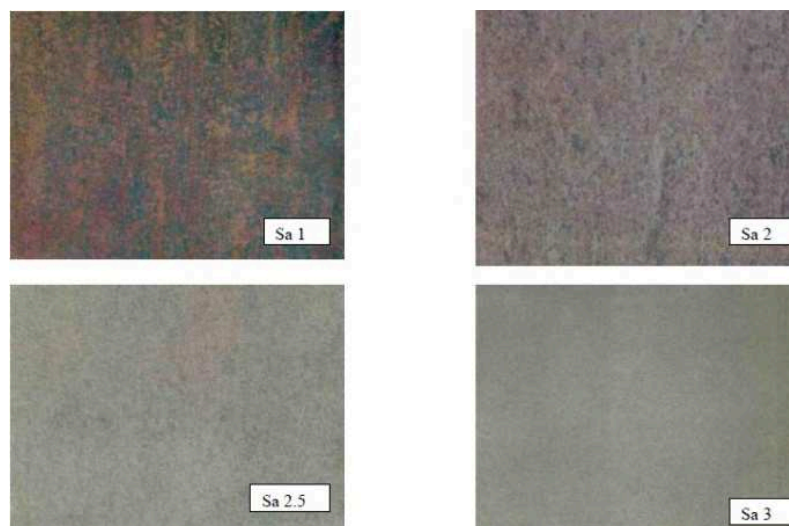
Uvedené nečistoty je nezbytné před samotnou aplikací nátěrového systému vhodným způsobem odstranit. Cílem předúpravy povrchu není pouze očištění povrchu, ale rovněž vytvoření lepších podmínek pro ukotvení nátěrového systému, zlepšení mechanických vlastností a vzhledu povrchu.

### 5.1 Mechanické předúpravy povrchu

Touto předúpravou se odstraňují převážně nečistoty vázané chemicky k povrchu materiálu mechanickou silou. Ve vztahu k aplikaci nátěrových systémů patří otryskávání a kartáčování k nejčastěji používaným úpravám povrchu.

#### 5.1.1 Otryskávání

Jedná se o technologii, při které se proti povrchu základního materiálu vrhá vysokou rychlostí tryskáci prostředek. Výsledná čistota povrchu je ovlivňována druhem a také tvarem tryskácího materiálu, jeho kinetickou energií, úhlem dopadu a vzdáleností tryskácího zařízení od povrchu kovu. Stupně přípravy povrchu otryskáním jsou stanoveny normou ČSN EN ISO 12944-4 „*Nátěrové hmoty – protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 4: Typy povrchů, podkladů a jejich příprava*“, a to v rozsahu Sa 1, Sa 2, Sa 2<sup>1/2</sup> a Sa 3, přičemž vyšší číslice značí čistější povrch. Zatímco v případě stupně Sa1 jsou z povrchu odstraněny pouze špatně přilnavé nečistoty, při požadavku na stupeň Sa 3 musí povrch vykazovat jednotný kovový vzhled bez přítomnosti rzi, okují nebo cizích látek. [8]



**Obr. 3** - Vzhled otryskaného kovu v jednotlivých stupních. [7]

Jako tryskáčím prostředek se v technické praxi používá široká škála materiálů, například ocelolitinová drť, ocelové broky, struska, sekaný patentovaný drát, brusiva na bázi oxidu hlinitého a v neposlední řadě také křemičitý písek. Tento dříve hojně užívaný prostředek má v současné době uplatnění pouze při mokřím otryskávání, kdy nehrozí nebezpečí vzniku silikózy u obsluhy tryskáčímho zařízení. Pro vyhlazování a leštění se používají rovněž speciální materiály, mezi které patří balotina, granulát z plastických hmot, drcené skořápky ořechů nebo pecky. [1]

Při výběru vhodného tryskáčímho prostředku je nutné brát v úvahu druh upravovaného povrchu, stupeň jeho znečištění a tloušťku jeho stěn. Pro měkké a tenkostěnné materiály se používají tryskáčím prostředky jemnozrnné a nižší tlak. Správná volba tryskáčímho prostředku přispívá také k vhodné drsnosti povrchu. Ostrohranná tvrdá zrna se zasekávají do povrchu základního materiálu, čímž odstraňují i drobné částice kovu. Takový povrch je po otryskávání drsný s množstvím drobných kráterů. Zrna tryskáčímho prostředku mohou však ulpívat v povrchu a způsobovat takzvané sekundární znečištění. [2] Kulatá zrna pokrývají povrch kovu mělkými důlky a povrchovou vrstvu zpevňují. Povrch je hladší, avšak vzniká nebezpečí, že do něho mohou být zatlačeny zbytky nečistot. Stává se odolnější vůči koroznímu působení, ale zároveň je méně vhodný pro zakotvení nátěru.

Kinetickou energii uděluje tryskáčím materiálu stlačený vzduch v případě užití pneumatického tryskače, nebo odstředivá síla rotujícího metacího kola. V případě suspenzního otryskávání nebo otryskávání tlakovou kapalinou získává tryskáčím prostředek svou energii tlakem kapaliny, obvykle čisté vody. Aby nedocházelo k rezivění čerstvě otryskaného kovového povrchu, je vhodné do mokřé směsi přidat inhibitor koroze. Po mokřím otryskávání musí bezpodmínečně následovat důkladné usušení povrchu kovu. Teprve poté lze aplikovat nátěrové systémy.

### 5.1.2 Kartáčování

Dalším způsobem mechanické předúpravy povrchu je čištění pomocí ručního a mechanického kartáčování. K dosažení požadované jakosti povrchu se využívají různé druhy brusných kotoučů, drátěných kartáčů, oklepávacích kladiv. Efektivita a účinnost těchto metod je však nižší, než při použití otryskávání. Mají však své opodstatnění v případě, kdy nelze použít otryskávání ať již z důvodu vyloučení prašnosti nebo z důvodu hromadění použitého abraziva. Také pro ruční nebo mechanizované kartáčování jsou normou ČSN EN ISO 12944-4 stanoveny stupně čistoty povrchu, tj. St 2 a St 3. Povrch vyššího stupně musí vykazovat kovový odstín daný podkladem.

## 5.2 Chemické předúpravy povrchu

K očištění povrchu materiálu dochází v důsledku reakce nečistoty s chemickou sloučeninou. K základním způsobům chemické předúpravy patří odmašťování a moření.

### 5.2.1 Odmašťování

Odmašťování se používá pro odstranění nečistot vázaných k základnímu materiálu fyzikálními silami. Po očištění povrchu je nezbytný důkladný oplach materiálu v čisté vodě. Podle použitého odmašťovacího přípravku a mechanismu odstraňování nečistot lze odmašťování rozdělit do jednotlivých skupin.

- Odmašťování v alkalických roztocích
- Odmašťování v neutrálních roztocích
- Odmašťování v organických rozpouštědlech
- Elektrolytické odmašťování
- Odmašťování v emulzních roztocích
- Vysokotlaké odmašťování
- Odmašťování opalováním

Alkalické odmašťovací roztoky obsahují sodu nebo louh, křemičitany, uhličitany, fosforečnany, povrchově aktivní látky - tenzidy a emulgátory. Rostlinné a živočišné tuky se jejich působením zmýdelňují a přechází do roztoku. Odstranění minerálních olejů je složitější a dochází k němu až za zvýšené teploty, která je při ponorném způsobu odmašťování oceli vyšší jak 80 °C. Princip odstranění nečistot je založen na emulgaci a dispergaci mastnot s následným zabráněním opětovnému usazování nečistot. Emulgaci lze ještě urychlit pomocí ultrazvuku, jehož použití je vhodné zejména při čištění povrchu

profilovaných součástí, kde napomáhá odstraňování nečistot ze záhybů nebo malých otvorů. [2]

V případě neutrálních roztoků se jedná o vodní roztoky saponátů. Tento způsob je vhodný pro ruční odmašťování rozměrných předmětů. Odmašťování v organických rozpouštědlech je velmi účinné a proto se používá pro odstraňování hrubých nečistot, ale i pro velmi členité povrchy. Jako odmašťovací prostředky se používají benzen, petrolej, benzín, toluen. Výborné odmašťovací vlastnosti mají chlorované uhlovodíky (trichlóretylén a tetrachlóretylén), avšak pro jejich negativní vliv na životní prostředí jsou postupně nahrazovány přípravky na bázi alifatických uhlovodíků. [1]

Vynikající úroveň čistoty povrchu lze dosáhnout při elektrolytickém odmašťování. Jedná se prakticky o elektrolýzu v alkalickém roztoku, kdy průchodem elektrického proudu dochází k disociaci látek. Roztok je na bázi kyanidových nebo bezkyanidových solí. Pokud je čištěný povrch katodou, vylučuje se na něm chemicky nestálý alkalický kov, který se ihned slučuje s vodou na hydroxid, čímž zintenzivňuje proces odmašťování. Rovněž vznikající bublinky vodíku mechanicky odtrhávají mastnotu od povrchu, avšak difuze vodíku do povrchu kovu způsobuje vodíkovou křehkost. Pokud je čištěný povrch anodou, dochází k jeho rozpouštění a intenzita čištění je zvýšená uvolněnými bublinkami kyslíku. Nejúčinnější je pak kombinace obou způsobů, tedy bipolární katodicko-anodické odmašťování, při kterém se polarita čištěného povrchu po určité době mění. Poměr mezi katodickým a anodickým odmašťováním je asi 3:1. [1]

Odmašťovací emulzní roztoky jsou vodní roztoky směsí organických rozpouštědel, emulgátorů, smáčedel, alkalických látek a inhibitorů. Užívají se k odstraňování hrubých vrstev mastnot. Technologie vysokotlakého kapalinného odmašťování je založena na působení proudu vody o velmi vysokém tlaku. Jako čisticí prostředek se používá čistá voda případně voda s přídavkem inhibitorů. V porovnání s předchozími metodami má tento způsob odmašťování nespornou výhodu v jednodušším čištění odpadních vod. Opalování spočívá v zahřátí povrchu na dostatečnou teplotu, obvykle v rozmezí 300 až 700 °C, při které se mastnoty spálí. Vytvořené oxidy se následně odstraní mořením nebo otryskáním. [1]

### 5.2.2 Moření

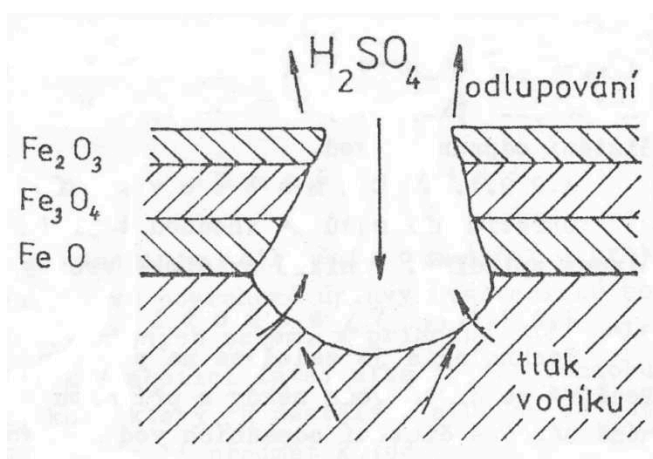
K očištění povrchu kovu od oxidických nečistot, jakými jsou rzi a okuje, se používá moření. Oxidy se působením kyseliny případně hydroxidu mění na rozpustné soli, které se z povrchu odstraní důkladným omytím čisté vodě s přídavkem neutralizačních přísad.



Správně odmořený povrch má vykazovat nepatrně zdrsňený povrch a ocelově šedou barvu. V praxi se k moření nejčastěji používají roztoky kyselin:

- sírové,
- chlorovodíkové,
- fosforečné.

Kyselina sírová proniká k povrchu kovu póry v oxidickém povlaku, kde rozpouští jeho wüstitovou vrstvu (oxid železnatý), která se nachází na rozhraní kov – okuje. Současně dochází i k chemické reakci se základním materiálem, při které se uvolňuje vodík. Svým tlakem pak vodík přispívá k odtrhávání hůře rozpustných vyšších oxidů železa, magnetitu a hematitu, čímž se moření urychluje. Jeho přítomnost má však i negativní důsledky v podobě křehnutí oceli. Na reakci s kovem se spotřebuje více jak polovina kyseliny a dochází k hmotnostním ztrátám, které činí 2 až 4 %. Uvedená negativa lze zmírnit použitím inhibitorů, které zpomalují rozpouštění ocele, ale rozpouštění okujů téměř neovlivňují. Moření probíhá v kyselině o koncentraci 5 až 20 %, za zvýšené teploty, která se pohybuje v rozmezí 40 až 70 °C. [1]



**Obr. 4** - Schématický průběh moření v  $H_2SO_4$ . [1]

V kyselině chlorovodíkové probíhá rozpouštění okujů rychleji a rovnoměrněji, zatímco rozpouštění kovu není tak výrazné. Moření probíhá v kyselině o koncentraci 10 až 20 % při teplotě okolí. [1] Kromě koncentrace kyseliny a teploty je čas moření silně závislý na obsahu hematitu v okujích. Na vině je nízká rychlost jeho rozpouštění. Příznivý vliv na dobu moření má pohybování mořící lázni, a to zejména při silných vrstvách okujů nebo nižší koncentraci lázně.

Výraznou výhodou moření v kyselině fosforečné je současná pasivace oceli. Účinnost moření podstatně závisí na teplotě lázně, která by měla být v rozmezí 60 až 80 °C. Při vyšších teplotách se sice účinnost zvyšuje, ale současně dochází k silné korozi oceli.

Princip rozpouštění okují je obdobný jako v případě kyseliny sírové. Mořící roztok proniká k povrchu čistěného kovu, kde rozpouští wüstitovou vrstvu a tím uvolňuje nad ní ležící vyšší oxidy. K moření se používá kyselina o koncentraci 15 %. Z ekonomických důvodů je vhodné provádět moření za současné regenerace lázně. Kyselina fosforečná cirkuluje mezi mořící lázní a regenerační stanicí, kde se rozpouštěné železo zachytává na katexu pomocí kyseliny sírové. [1]

Jako příklad moření v taveninách lze uvést moření v lázni hydroxidu sodného doplněného 1,5 až 3 % podílem hydridu sodného. Moření probíhá při teplotě 350 °C. K zvláštním způsobům moření náleží moření v parách chlorovodíku. Vlhké páry zde reagují s okujemi za vzniku chloridů, které se při vysoké teplotě (500 °C) odpaří a zůstává čistý povrch. [1] Pro moření legovaných ocelí se používají roztoky obsahující několik kyselin. Kromě již uvedených se používá kyselina dusičná nebo fluorovodíková.

## 6 Návrh experimentálních metod

Cílem experimentálních prací je ověření odolnosti moderních, ekologicky šetrných nátěrových systémů vůči koroznímu prostředí. V rámci daného experimentu se bude jednat o vícevrstvý nátěrový systém založený na epoxidovém základu obsahujícím zinkový prach, vysokosušinové epoxidové mezivrstvě s antikorozními pigmenty a akrylpolyuretanové krycí vrstvě.

### Experimentální zkoušky:

- vizuální hodnocení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1,
- hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3,
- měření drsnosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287,
- stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808,
- korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227,
- zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru proti podkorodování dle ČSN 67 3087

### Hodnocení nátěrových systémů:

- hodnocení přilnavosti nátěrových systémů:
  - odtrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-1,
  - mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276-2,
- hodnocení stupně puchýřkování dle ČSN EN ISO 4628-2,
- hodnocení stupně prerezavění dle ČSN EN ISO 4628-3,
- hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu dle ČSN EN ISO 4628-8.

## **7 Charakteristika experimentálních zkoušek**

### **7.1 Vizuální hodnocení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1**

Vyhodnocení stupně přípravy povrchu oceli bylo provedeno dle normy ČSN EN ISO 8501-1 *„Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální hodnocení čistoty povrchu – Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků.“* Jednotlivé stupně jsou v normě definovány slovním popisem a referenčními fotografiemi. [9]

### **7.2 Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3**

Čistota povrchu byla stanovena dle normy ČSN ISO 8502-3 *„Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu – Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání (metoda snímání samolepící páskou).“* Norma popisuje metody určené pro stanovení zbytkových prachových částic na očištěném ocelovém povrchu určeném pro aplikaci nátěrových hmot. Na základě obrázkových standardů se provádí hodnocení průměrného množství prachu a dle popisu se hodnotí průměrná velikost prachových částic. [10]

### **7.3 Měření drsnosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287**

Stanovení drsnosti povrchu bylo realizováno v souladu s normou ČSN EN ISO 4287 *„Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu.“* Tato mezinárodní norma stanovuje jednotlivé termíny, definice a parametry pro určování drsnosti, vlnitosti a základního profilu profilovou metodou. [11]

Pro stanovení drsnosti povrchu byl použit drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ-301. Jedná se o mobilní přístroj s ovládacím dotykovým displejem a zabudovanou tiskárnou. Povrchová textura materiálu se snímá dotykovou metodou pomocí diamantového hrotu a zobrazuje se přímo na displeji. Naměřené hodnoty lze pak přímo vytisknout nebo datovým kabelem přenést na externí počítač. [22] Parametry nastavení přístroje při vlastním měření jsou obsaženy v tabulce 1.

**Tab. 1 - Parametry nastavení drsnoměru Mitutoyo SurfTest SJ-301**

WorkName	MeasuringTool	Standard	Profile	Range
Sample	SurfTest SJ-301	ISO 1997	R	Auto
Operator	Comment	N	$\lambda_c$	Filter
Mitutoyo	Ver 2.1	1	8 mm	GAUSS

Měřené parametry drsnosti

- Ra průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- Rz nejvyšší výška profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- Rq průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- Rp nejvyšší výška výstupku profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- Rv největší hloubka prohlubně profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- Rsk šikmost posuzovaného profilu (součinitel asymetrie) [-],
- Rku špičatost posuzovaného profilu [-],
- $\lambda_c$  délka měřeného úseku [mm]. [11]

## 7.4 Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808

Tloušťka nátěrového systému byla stanovena v souladu s normou ČSN EN ISO 2808 „Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru.“ Norma zahrnuje řadu metod použitelných pro měření tloušťky suchého i mokrého nátěrového filmu a nevytvrzených vrstev práškových nátěrových hmot. Popisuje jejich principy, oblast použití, dosažitelnou přesnost a postupy při samotném stanovování tloušťky. [12]

Tloušťka mokré vrstvy byla stanovena pomocí hřebenové měrky. Jedná se o mechanickou metodu založenou na stanovení rozdílu výšky mezi dvěma kontaktními body. Měrka je tvořena plochou deskou s odstupňovanou řadou vnitřních zubů, které se nacházejí mezi referenčními zuby v rozích desky. Jednotlivé zuby jsou označeny hodnotou mezery, tedy vzdáleností od linie tvořené referenčními zuby. Měrka se přikládá kolmo k natřenému povrchu co nejdříve po nanesení nátěru a po jejím oddálení se vizuálně určí zub s nejvyšší hodnotou mezery, který byl v kontaktu s nátěrem.

Tloušťka suché vrstvy byla stanovena pomocí digitálního tloušťkoměru Elcometr 456. Jedná se o feromagnetický přístroj pracující na principu elektromagnetické indukce s vestavěnou sondou, kterým lze měřit tloušťky v rozsahu 0 – 1500  $\mu\text{m}$  s přesností

$\pm 1$  až 3 % nebo  $\pm 2,5$   $\mu\text{m}$ . Rozlišení přístroje je 0,1  $\mu\text{m}$  v rozsahu 0 – 100  $\mu\text{m}$  a 1,0  $\mu\text{m}$  v rozsahu 100 – 1500  $\mu\text{m}$ . [23]

## **7.5 Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227**

Hodnocení míry odolnosti aplikovaného nátěrového systému vůči koroznímu prostředí bylo posuzováno na základě degradace nátěru v uměle vytvořené korozní atmosféře. Nezávisle na sobě byly provedeny dvě různé korozní zkoušky – korozní zkouška v umělé atmosféře a zrychlená ponorová zkouška. V obou případech byly koroznímu prostředí vystaveny jak vzorky s neporušeným nátěrovým systémem, tak i vzorky s řezem dosahujícím až k podkladovému kovu.

Zkouška v umělé atmosféře byla realizována dle normy ČSN EN ISO 9227 „*Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou.*“ Zkouškou se zjišťuje protikorozní odolnost kovových materiálů, ať již bez povrchové úpravy nebo opatřených ochrannými povlaky. Zkouška solnou mlhou je obecně vhodná pro rychlé určení defektů anorganických i organických nátěrů. Norma předepisuje zkušební zařízení, chemikálie a postupy zkoušek ve třech různých modifikacích solné mlhy. Nezabývá se interpretací výsledků. [13]

Zkouška byla provedena v neutrálním roztoku chloridu sodného v korozní komoře Leibisch typ S400 M-TR za následujících provozních podmínek:

- tlak vzduchu 0,3 – 0,4 MPa,
- tlak vody 0,25 – 0,3 MPa (max. 0,4 MPa),
- průtok 0,45 l/hod,
- teplota v komoře 35 °C,
- teplota zvlhčovače 55 °C,
- spad aerosolu 80 g/24 h,
- pH spadu 6,5 - 7,2.

Celková délka expozice byla 720 hodin. Během této doby byly prováděny periodické vizuální kontroly vzorků, jejich fotodokumentace a hodnocení míry degradace nátěrového systému podle příslušných norem.

## **7.6 Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru proti podkorodování dle ČSN 67 3087**

Zrychlená ponorová zkouška byla realizována dle normy ČSN 67 3087 „*Laboratorní zkoušky ochranné účinnosti nátěrů na kovech. Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěrů proti podkorodování (postup podle Machu a Schiffmana)*.“ Zkouška ověřuje schopnost nátěrového systému odolávat podkorodování v místě poškození. Stanovuje se velikost plochy nátěru v okolí řezu, ve které došlo při zkoušce ke ztrátě přilnavosti k podkladovému kovu. Norma definuje přípravu zkušebních vzorků, chemikálií a samotný postup při provedení zkoušky. Neobsahuje hodnocení výsledků. [14]

Vzorky opatřené nátěrovým systémem byly ponořeny do okyseleného roztoku chloridu sodného s přidavkem peroxidu vodíku. Zkouška byla provedena ve třech cyklech, délka expozice při každém z nich byla 16 hodin. Po každém cyklu bylo provedeno vizuální hodnocení míry degradace nátěrového systému dle příslušných norem a fotodokumentace vzorků.

## **7.7 Zkoušky přilnavosti nátěrových systémů**

Odtrhová pevnost nátěrového systému byla hodnocena dle normy ČSN EN ISO 16276-1 „*Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 1: Odtrhová zkouška*.“ Norma specifikuje postupy hodnocení odtrhové pevnosti nátěru, tedy síly nezbytné k porušení vazebných sil nátěrového systému, soudržnosti jednotlivých vrstev nátěru, přilnavosti nátěru k podkladovému materiálu i mezi jednotlivými vrstvami. Jedná se o destruktivní metodu a po provedené zkoušce je nezbytná oprava nátěru. [15]

Odtrhová zkouška byla provedena pouze na vzorcích s kompletním nátěrovým systémem. Zkušební tělíška o průměru 20 mm byla na zdrsňený povrch nalepena dvousložkovým epoxidovým lepidlem Araldite. Ke zjištění odtrhové pevnosti byl použit mechanický odtrhoměr Elcometr 106 s pracovním rozsahem od 0 do 15 MPa.

Hodnocení přilnavosti nátěrového systému bylo realizováno v souladu s normou ČSN EN ISO 16276-2 „*Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*.“ Norma popisuje postup při hodnocení odolnosti nátěrového systému, který byl porušen řezem dosahujícím až k podkladovému kovu. V případě mřížkové zkoušky se jedná o řez ve tvaru pravoúhlé mřížky, v případě

křížového řezu pak o řez ve tvaru písmene X. Také v tomto případě se jedná o destruktivní metodu vyžadující následnou opravu zkušebních míst. [16]

Jelikož tloušťka kompletního nátěrového systému přesahuje hodnotu 250  $\mu\text{m}$ , byla pro tuto zkoušku odtrhové pevnosti zvolena metoda křížového řezu. Řez byl proveden s pomocí šablony a jednobřitého odlamovacího nože. Ke zkoušce přilnavosti byla použita průhledná samolepící páska o šířce 50 mm.

## 7.8 Hodnocení degradace nátěrů

Degradace nátěrových systémů se určuje dle normy ČSN EN ISO 4628-1 „*Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 1: Obecný úvod a systém klasifikace.*“ Norma obsahuje obecné principy systému klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity změn vzhledu nátěrových systémů. [17]

Puchýřkování bylo hodnoceno v souladu s normou ČSN EN ISO 4628-2 „*Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování.*“ Normou je popisována metoda hodnotící stupně puchýřkování nátěru, a to porovnáváním s obrázkovými standardy. Při hodnocení se vychází z množství a velikosti puchýřků. [18]

Hodnocení prerezivění bylo provedeno podle normy ČSN EN ISO 4628-3 „*Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 3: Hodnocení stupně prerezavění.*“ Norma obsahuje popis metody, kterou se stanovují jednotlivé stupně prerezavění nátěrových systémů za pomoci obrázkových standardů. Norma popisuje metodu charakterizující stupeň prerezavění nátěrových systémů. Hodnotí se pomocí obrázkových standardů. [19]

Delaminace a koroze bylo posuzována v souladu s normou ČSN EN ISO 4628-8 „*Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu.*“ Normou je popisován způsob hodnocení delaminace a koroze na zkušebních vzorcích v okolí řezu. Delaminaci i korozi lze vyjádřit buď výpočtem jako stupeň delaminace či koroze v milimetrech, nebo číselným hodnocením na základě porovnání s obrazovými standardy. [20]



## 8 Charakteristika vstupních materiálů

### 8.1 Ocelový substrát

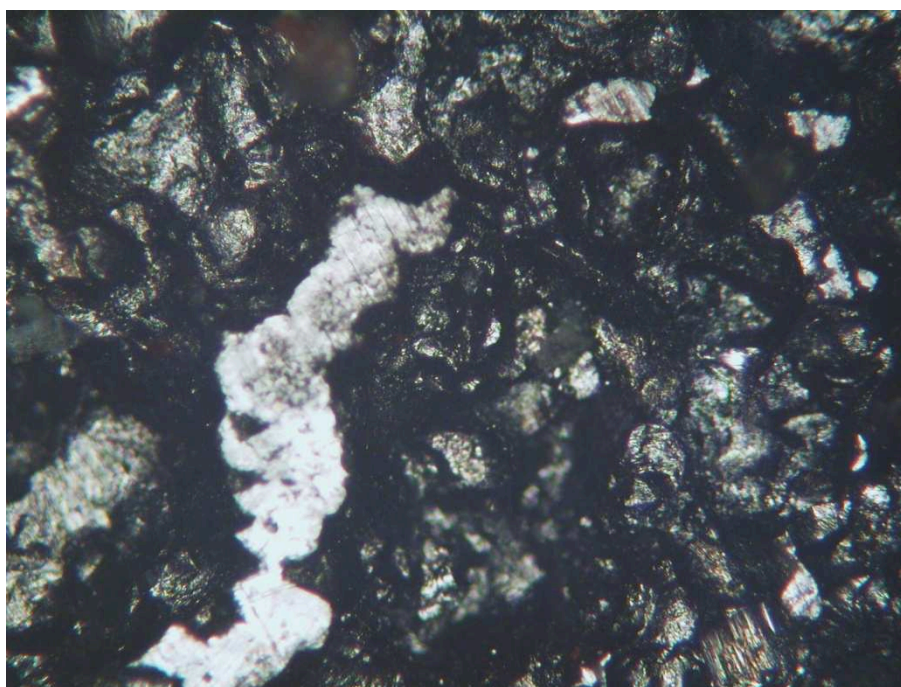
Pro experimentální práce byly použity vzorky z materiálu KOSMALT E 300T o rozměrech 150x100x3 mm. Chemické a mechanické vlastnosti uvedeného materiálu jsou přehledně popsány v tabulkách č. 2 a 3.

**Tab. 2** – Chemické vlastnosti materiálu KOSMALT E 300 T [21]

	Chemický rozbor tavební analýzy v %							
	C	Mn <sub>MAX</sub>	Si <sub>MAX</sub>	P <sub>MAX</sub>	S <sub>MAX</sub>	Al	N <sub>MAX</sub>	Ti
KOSMALT E 300 T	0,03 - 0,07	0,30	0,06	0,020	0,020	0,02 - 0,07	0,010	0,06 - 0,12

**Tab. 3** – Mechanické vlastnosti materiálu KOSMALT E 300 T [21]

	R <sub>e</sub> MIN (MPa)	R <sub>m</sub> (MPa)	A <sub>MIN</sub> (%)		Úhel ohybu 180°	Tloušťka (mm)
			l <sub>0</sub> = 80 mm	L <sub>0</sub> = 5.65 √s <sub>0</sub> <sup>1)</sup>		
KOSMALT E 300 T	300 - 450	350 - 550	25	28	0.a	2,50 – 8,00
<sup>1)</sup> do šířky 600 mm odběr vzorků podélně "l", nad 600 mm příčně "t".						



**Obr. 5** - Mikrosnímek povrchu materiálu při zvětšení 100 x

## 8.2 Nátěrový systém

Na připravené podkladové materiály byly v souladu s technickými listy výrobce aplikovány pneumatickým stříkáním jednotlivé vrstvy nátěrového systému. Základní a vrchní nátěrové hmoty byly aplikovány v jedné vrstvě, mezivrstvosvá nátěrová hmota byla aplikována ve dvou vrstvách. Před aplikací byly nátěrové hmoty zředěny o 10 %.

### Základní nátěrová hmota

Jako základní nátěrová hmota byla použita dvousložková epoxidová nátěrová hmota s vytvrzovací složkou na bázi polyamidu. Obsahuje více jak 94 % zinkového prachu a je určena pro ochranu ocelových povrchů vystavených působení korozní agresivity stupně C5-I nebo C5-M.

**Tab. 4 – Doporučená tloušťka základního nátěrového filmu**

Doporučený aplikační rozsah tlouštěk nátěrového filmu		Teoretická vydatnost
Suchá (DFT)	Mokrá (WFT)	
40 µm	70 µm	14,5 m <sup>2</sup> /l
70 µm	125 µm	8,3 m <sup>2</sup> /l

### Mezivrstvosvá nátěrová hmota

Pro mezivrstvu byla použita dvousložková epoxidová nátěrová hmota s antikorozními a lamelárními pigmenty. Jedná se o nátěrovou hmotu s vysokým obsahem sušiny a nízkým obsahem VOC látek, vhodnou k ochraně ocelových materiálů exponovaných v korozním prostředí stupně agresivity C5-I nebo C5-M.

**Tab. 5 – Doporučená tloušťka nátěrového filmu jednotlivých mezivrstev**

Doporučený aplikační rozsah tlouštěk nátěrového filmu		Teoretická vydatnost
Suchá (DFT)	Mokrá (WFT)	
80 µm	110 µm	9,5 m <sup>2</sup> /l
200 µm	265 µm	3,8 m <sup>2</sup> /l

### Vrchní nátěrová hmota

V případě vrchního nátěru byla použita dvousložková akrylpolyuretanová nátěrová hmota s vytvrzovací složkou na bázi alifatického izokyanátu. Nátěrová hmota obsahuje slídové případně železoslídové pigmenty a je vhodná pro ocelové konstrukce vystavené korozní agresivitě stupně C5-I nebo C5-M.

**Tab. 6 – Doporučená tloušťka vrchního nátěrového filmu**

Doporučený aplikační rozsah tlouštěk nátěrového filmu		Teoretická vydatnost
Suchá (DFT)	Mokrá (WFT)	
40 µm	80 µm	13,3 m <sup>2</sup> /l
80 µm	155 µm	6,6 m <sup>2</sup> /l

### 8.3 Značení a specifikace vzorků

K provedení experimentálních prací byly použity pouze vzorky s kompletním nátěrovým systémem, který byl aplikován celkem na 8 vzorků. Pro jejich jednoznačnou identifikaci byly opatřeny značkou obsahující písmeno řecké abecedy a pořadové číslo v dané skupině.

#### Použitá písmena a jejich význam

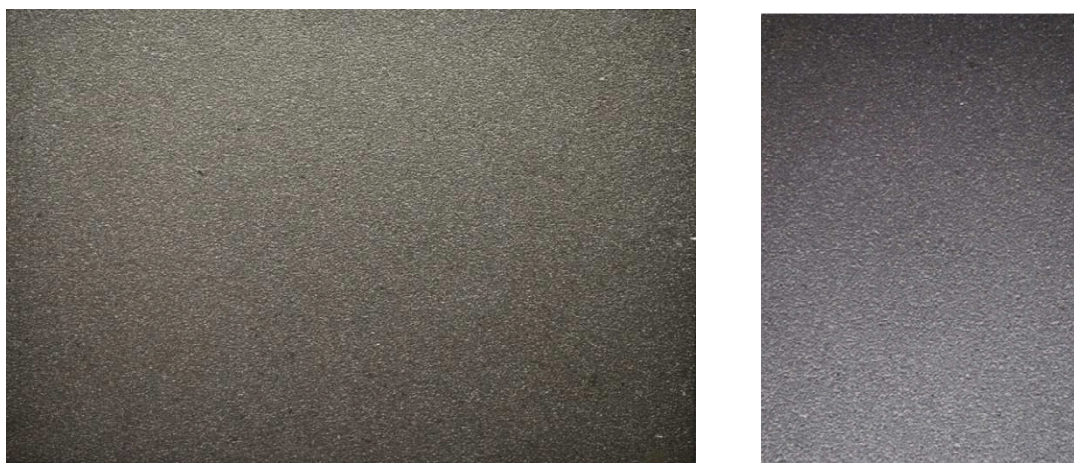
- R – referenční
- K – vzorky určené pro korozní zkoušku solnou mlhou
- P – vzorky určené pro zrychlenou ponorovou zkoušku

V případě kategorie R se jednalo o dva vzorky, které byly využity pro získání čtyř referenčních hodnot obou zkoušek přilnavosti nátěrového systému. Pro každou korozní zkoušku byly určeny 3 vzorky. Vzorky s pořadovým číslem 1 sloužily pro vyhodnocení stupně puchýřkování a prerezivění. Vzorky s číslicí 2 byly opatřeny jedním rovným řezem rovnoběžným s jejich delší hranou a byly použity pro hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu. Vzorky s číslicemi 1 a 3 byly využity pro zjištění dalších čtyř hodnot zkoušek přilnavosti nátěrového systému po ukončených korozních zkouškách.

## 9 Výsledky experimentálních zkoušek

### 9.1 Vizuální hodnocení čistoty povrchu

Ocelový substrát byl důkladně otryskán ocelovou drtí. Následnou vizuální prohlídkou nebyla na povrchu podkladového materiálu zjištěna přítomnost olejů, mastnot, nečistot, okují, rzi ani žádných cizích látek. Všechny zbylé stopy nečistot byly viditelné pouze jako stíny ve formě skvrn. Dle normy ČSN EN ISO 8501-1 byla dosažená čistota povrchu hodnocena stupněm přípravy povrchu Sa 2 ½.



**Obr. 6** – Použitý podkladový materiál pro experimentální zkoušky s detailem povrchu

### 9.2 Stanovení čistoty povrchu

Ke zkoušce byla použita průhledná samolepící páska o šířce 25 mm. Jako kontrastní podklad byl použit list bílého papíru. Výsledky hodnocení třech nezávislých zkoušek stanovených dle normy ČSN ISO 8502-3 jsou seřazeny v tabulce 7.

**Tab. 7** – Stanovení čistoty povrchu dle ČSN ISO 8502-3

	Hodnocení		
	1	2	3
Stupeň množství prachových částic	4	4	4
Třída velikosti prachových částic	2	2	2

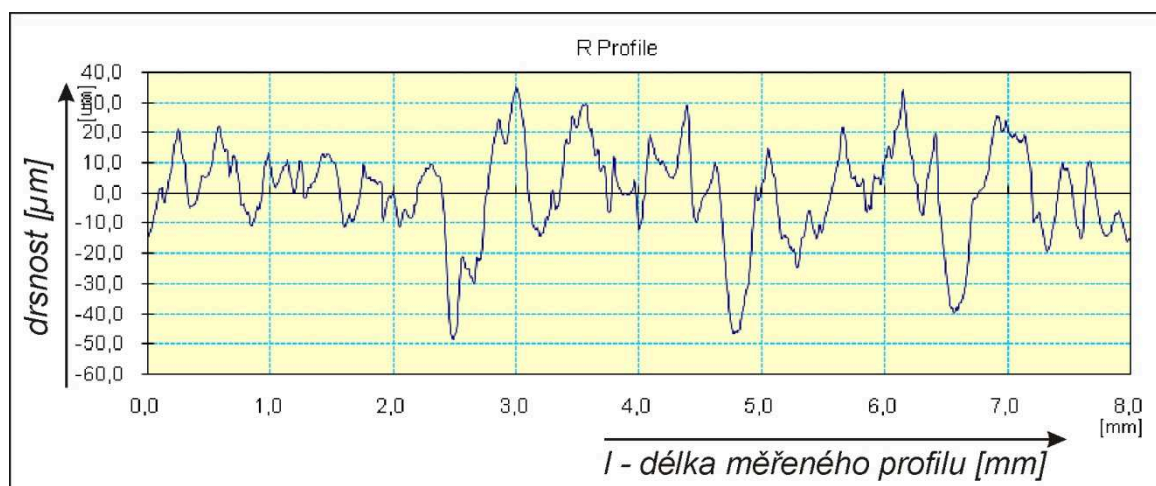
S ohledem na skutečnost, že substrát byl před hodnocením čistoty povrchu otryskán, nejedná se v daném případě o klasické prachové částice, ale o zbytky tryskacího média.

### 9.3 Stanovení drsnosti povrchu

Po nastavení přístroje bylo v různých oblastech referenčního vzorku provedeno 10 nezávislých měření. Získané hodnoty jsou přehledně seřazeny v tabulce 8.

**Tab. 8** – Hodnoty drsnosti povrchu

Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	10,73	73,12	13,45	31,00	42,13	-0,28	2,96
2	10,25	70,25	12,91	33,49	36,76	-0,08	2,95
3	10,46	73,62	13,44	42,14	31,48	0,18	3,14
4	12,71	71,94	14,60	35,21	36,73	0,11	2,33
5	11,98	83,22	15,56	34,90	48,32	-0,64	3,67
6	10,84	71,89	13,73	37,22	34,37	0,19	2,92
7	13,21	92,26	16,83	42,66	49,60	-0,57	3,26
8	13,58	83,35	16,75	47,26	36,08	0,42	2,77
9	12,39	77,30	14,97	33,75	43,55	-0,07	2,53
10	11,84	75,38	14,51	35,18	40,20	-0,19	2,58
Průměrné hodnoty	11,80	77,23	14,68	37,28	39,92	-	2,91



**Obr. 7** – Graf drsnosti povrchu podkladového materiálu KOSMALT E300T



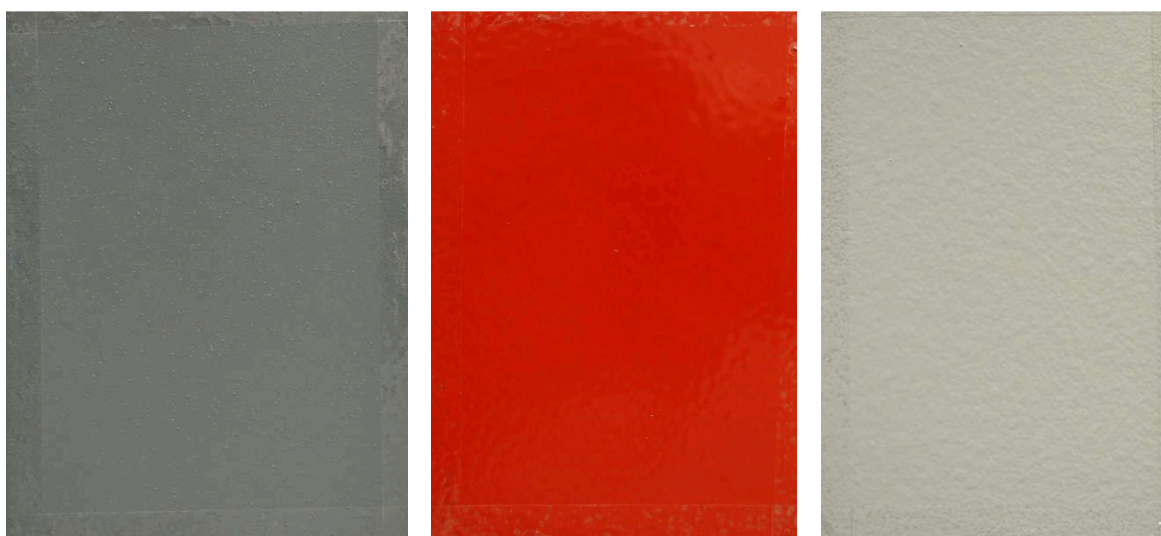
## 9.4 Stanovení tloušťky nátěrového systému

### Tloušťka mokré vrstvy

Jednotlivé tloušťky mokrého filmu byly zjišťovány hřebenovou měrkou ihned po aplikaci dílčích nátěrů. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 9.

**Tab. 9** – Hodnoty tloušťky mokré vrstvy

Tloušťka jednotlivých mokrých vrstev nátěrového systému [ $\mu\text{m}$ ]			
Základní NH	1. mezivrstva	2. mezivrstva	Vrchní NH
125	110	110	155



**Obr. 8** – Jednotlivé vrstvy aplikovaného nátěrového systému  
vlevo: základní NH, uprostřed: 2. mezivrstva, vpravo: krycí NH.

### Tloušťka suché vrstvy

Měření tloušťky suché vrstvy bylo provedeno po vytvrzení kompletního nátěrového systému s odstupem 14 dní po aplikaci vrchní nátěrové hmoty. Po nastavení přístroje kalibrační fólií byla prováděna jednotlivá měření po obou stranách zkušebních vzorků. Naměřené hodnoty jsou přehledně sestaveny v tabulce 10.

**Tab. 10** – Hodnoty tloušťky suché vrstvy

Měření	Tloušťka suché vrstvy nátěrového systému [μm]															
	1		2		3		4		5		6		7		8	
	str. 1	str. 2	str. 1	str. 2	str. 1	str. 2	str. 1	str. 2	str. 1	str. 2	str. 1	str. 2	str. 1	str. 2	str. 1	str. 2
1	311	297	302	296	332	338	304	283	288	321	305	309	327	317	318	275
2	324	274	325	279	289	313	325	295	294	314	324	284	301	321	327	307
3	322	286	306	280	318	301	325	293	275	311	296	279	314	308	320	293
4	306	302	309	276	330	311	328	285	272	301	315	291	286	301	303	281
5	314	274	297	284	290	332	321	274	304	325	321	327	298	281	315	280
6	340	295	331	273	295	337	271	279	274	306	306	312	305	328	289	292
7	353	289	320	282	336	330	312	285	269	316	314	275	317	309	294	278
8	339	270	309	275	289	318	318	297	298	328	329	289	294	279	302	296
9	332	274	316	294	337	331	329	272	271	319	304	304	309	296	318	279
10	336	295	317	273	318	284	312	302	284	317	312	280	325	308	311	268
Průměrná tloušťka NS [μm]	328	286	313	281	313	320	315	287	283	316	313	295	308	305	310	285
Doporučená tloušťka NS [μm]	310															
Odchylka od dop. tloušťky [%]	6	-8	1	-9	1	3	1	-8	-9	2	1	-5	-1	-2	0	-8
Max. naměřená tloušťka NS [μm]	353	302	331	296	337	338	329	302	304	328	329	327	327	328	327	307
Min. naměřená tloušťka NS [μm]	306	270	297	273	289	284	271	272	269	301	296	275	286	279	289	268

## 9.5 Korozní zkouška v umělé atmosféře

### Degradace nátěrového systému

Hodnocení míry degradace bylo prováděno periodicky na vzorcích ihned po vyjmutí ze zkušebního prostředí za pomoci obrázkových standardů. V průběhu 720 hodin se v nátěru objevil jen velmi malý, téměř nevýznamný počet defektů s velikostí v rozsahu 0,5 mm až 5 mm, nepravidelně pokrývající pouze necelé 0,4 % hodnocené plochy. První puchýřek, zřetelně viditelný prostým okem, byl zjištěn již po uplynutí 48 hodin. Během zkoušky nebyla zaznamenána rez pronikající na povrch ani viditelné podkorodování. Rovněž nebyla zjištěna delaminace podél řezu nebo puchýřkování v jeho okolí. V samotném závěru zkoušky byl zaznamenán výskyt korozních produktů na velmi malé ploše podél řezu. Časové údaje prováděných periodických kontrol a klasifikace zjištěných defektů jsou obsaženy v tabulce 11.

**Tab. 11** – Hodnocení nátěrového systému v průběhu korozní zkoušky v umělé atmosféře

Délka expozice v korozní komoře	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorezavění	Delaminace / koroze podél řezu	Puchýřkování kolem řezu
0 h	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
24 h	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
48 h	1 (S3)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
72 h	1 (S3)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
120 h	1 (S3)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
240 h	1 (S3)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
480 h	1 (S4)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
720 h	1 (S4)	Ri 0 (S0)	0/1	0 (S0)

### Odrhová zkouška přilnavosti

Odrhová zkouška přilnavosti byla provedena na referenčních vzorcích 14 dní po aplikaci vrchního nátěru a následně na vzorcích po ukončené korozní zkoušce. V obou případech byla provedena 4 nezávislá měření. Výsledky odrhové zkoušky vykazují výrazný pokles přilnavosti nátěrového systému vlivem působení korozního působení, a to výhradně mezi ocelovým substrátem a základní nátěrovou hmotnou. Hodnoty odrhové pevnosti odečtené na stupnici odrhoměru a povaha jednotlivých lomů jsou zachyceny v tabulce 12.

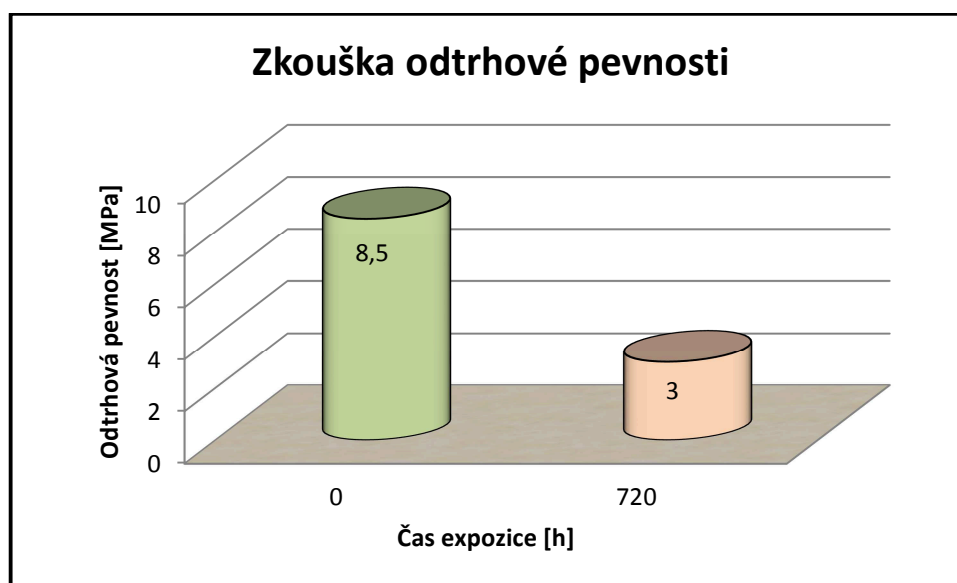


**Tab. 12 - Hodnoty odtrhové pevnosti a charakteristické lomy při korozní zkoušce**

Vzorek	Odtrhová pevnost [MPa]	Průměrná odtrhová pevnost [MPa]	Charakteristický lom [%]					
			A/B	B/C	D	D/-	-/Y	Y/Z
referenční (t = 0 h)	7	8,5	-	-	-	20	30	50
	8		-	-	-	40	30	30
	10		-	-	-	80	20	-
	9		-	10	5	70	15	-
po korozní zkoušce (t = 720 h)	2	3,0	100	-	-	-	-	-
	2		100	-	-	-	-	-
	5		100	-	-	-	-	-
	3		100	-	-	-	-	-

Zjištěné typy lomů:

- A/B adhezní poškození mezi podkladem a první vrstvou
- B/C adhezní poškození mezi první a druhou vrstvou
- D kohezní poškození třetí vrstvy
- D/- adhezní poškození mezi třetí a vrchní vrstvou
- -/Y adhezní poškození mezi vrchní vrstvou a lepidlem
- Y/Z adhezní poškození mezi lepidlem a zkušebním tělískem



**Graf 1 – Vývoj průměrné odtrhové pevnosti při korozní zkoušce**

### Zkouška křížovým řezem

Zkouška křížovým řezem byla prováděna současně s odtrhovou zkouškou. Vstupní hodnoty přilnavosti byly získány ze čtyř řezů provedených na referenčních vzorcích. Po ukončené korozní zkoušce v umělé atmosféře byly uskutečněny další čtyři nezávislé řezy. Zkouškou nebylo zjištěno na žádném z nich viditelné odlupování nebo odpadávající nátěr. V porovnání s referenčními vzorky nedošlo v průběhu zkoušky ke změně adheze. Hodnocení přilnavosti nátěrového systému porušeného křížovým řezem je obsahem tabulky 13.

**Tab. 13 - Vyhodnocení zkoušky křížovým řezem při korozní zkoušce**

Vzorek	Křížový řez			
	1	2	3	4
referenční (t = 0 h)	0	0	0	0
po provedené korozní zkoušce (t = 720 h)	0	0	0	0

## 9.6 Zrychlená ponorová zkouška

### Degradace nátěrového systému

Hodnocení míry degradace nátěrového systému bylo prováděno po vyjmutí vzorků ze zkušební roztoku za pomoci obrázkových standardů. Velmi malý, téměř nevýznamný počet defektů s velikostí v rozsahu 0,5 mm až 5 mm byl zaznamenán až při 3. cyklu. Prakticky se jednalo o jediný puchýřek o velikosti 4 mm, což činí pouze 0,1 % hodnocené plochy. V průběhu zkoušky nebyla pozorována rez pronikající na povrch ani viditelné podkorodování. Nebyla zjištěna žádná delaminace nebo přítomnost koroze podél řezu, nedošlo ani k puchýřkování v jeho okolí. Klasifikace zjištěných defektů při jednotlivých cyklech jsou obsahem tabulky 14.

**Tab. 14 – Hodnocení nátěrového systému v průběhu zrychlené ponorové zkoušky**

Délka expozice v roztoku NaCl	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorazavění	Delaminace / koroze podél řezu	Pochýřkování kolem řezu
0 h (vstupní hodnoty)	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
16 h (1. cyklus)	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
32 h (2. cyklus)	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
48 h (3. cyklus)	1 (S4)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)

### Odrhová zkouška přilnavosti

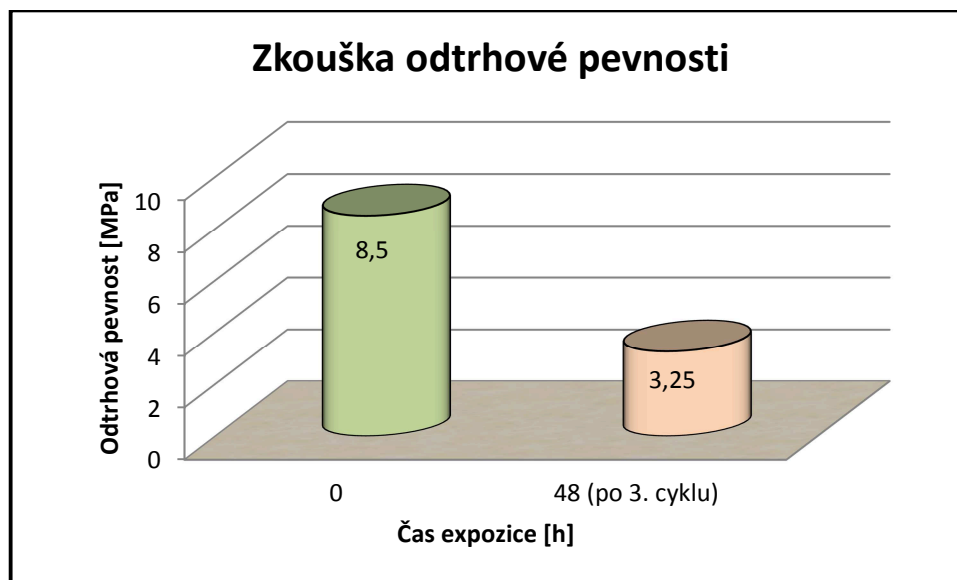
Odrhová zkouška přilnavosti byla provedena na vzorcích po ukončeném 3. cyklu zrychlené ponorové zkoušky. Referenční hodnoty byly společné pro obě korozní zkoušky. Hodnocení bylo uskutečněno na základě 4 nezávislých měření. V průběhu korozní zkoušky došlo k významnému poklesu přilnavosti nátěrového systému výhradně mezi podkladovým kovem a základní nátěrovou hmotnou. Hodnoty odečtené na stupnici odrhoměru a povaha jednotlivých lomů jsou obsaženy v tabulce 15.

**Tab. 15 - Hodnoty odrhové pevnosti a charakteristické lomy při zrychlené ponorové zkoušce**

Vzorek	Odrhová pevnost [MPa]	Průměrná odrhová pevnost [MPa]	Charakteristický lom [%]					
			A/B	B/C	D	D/-	-/Y	Y/Z
referenční (t = 0 h)	7	8,5	-	-	-	20	30	50
	8		-	-	-	40	30	30
	10		-	-	-	80	20	-
	9		-	10	5	70	15	-
po 3. cyklu ponorové korozní zkoušky	5	3,25	100	-	-	-	-	-
	4		100	-	-	-	-	-
	2		100	-	-	-	-	-
	2		100	-	-	-	-	-

Zjištěné typy lomů:

- A/B adhezní poškození mezi podkladem a první vrstvou
- B/C adhezní poškození mezi první a druhou vrstvou
- D kohezní poškození třetí vrstvy
- D/- adhezní poškození mezi třetí a vrchní vrstvou
- -/Y adhezní poškození mezi vrchní vrstvou a lepidlem
- Y/Z adhezní poškození mezi lepidlem a zkušebním tělískem



**Graf 2** – Vývoj průměrné odtrhové pevnosti při zrychlené ponorové zkoušce

#### Zkouška křížovým řezem

Zkouška křížovým řezem byla uskutečněna na vzorcích po ukončeném 3. cyklu zrychlené ponorové zkoušky. Při čtyřech nezávislých řezech nebylo zjištěno žádné odlupování nebo odpadávající nátěr. Číselné hodnocení přilnavosti nátěrového systému je uvedeno v tabulce 16.

**Tab. 16** - Vyhodnocení zkoušky křížovým řezem po zrychlené ponorové zkoušce

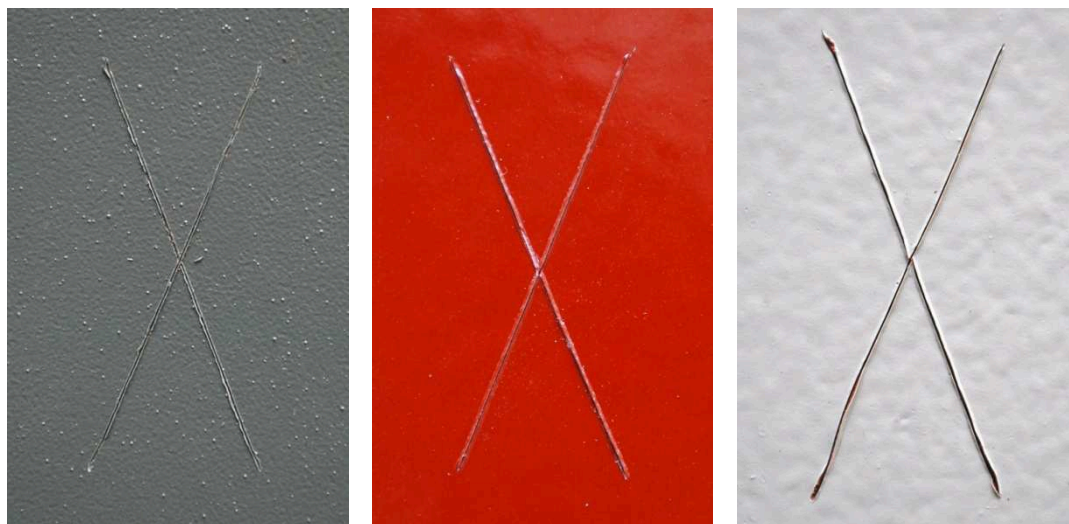
Vzorek	Křížový řez			
	1	2	3	4
referenční (t = 0 h)	0	0	0	0
po 3. cyklu ponorové korozní zkoušky	0	0	0	0

## 9.7 Atmosférická zkouška

Pro ověření korozní odolnosti jednotlivých vrstev nátěrového systému v přirozených atmosférických podmínkách budou vzorky exponovány po dobu následujících 24 měsíců na atmosférických stanicích v koksovně Svoboda v Ostravě - Přívozu v prostředí s korozní agresivitou C4 a v areálu VŠB-TU Ostrava v Ostravě - Porubě v prostředí s korozní agresivitou C2 až C3. Výsledky expozice nátěrového systému budou uvedeny v diplomové práci. Výchozí hodnoty zkoušky křížovým řezem jsou obsahem tabulky 17.

**Tab. 17 - Vyhodnocení zkoušky křížovým řezem**

Vzorek	Fáze aplikace nátěrového systému		
	Základní NH	Mezivrstevová NH	Krycí NH
před expozicí (t = 0 h)	0	0	0
po expozici (t = 24 měsíců)	Bude uvedeno v DP	Bude uvedeno v DP	Bude uvedeno v DP



**Obr. 9 – Realizované křížové řezy,**  
vlevo: základní NH, uprostřed: mezivrstevová NH, vpravo: krycí NH.



**Obr. 10 – Atmosférická stanice v areálu koksovny Svoboda,**  
vlevo celkový pohled na stojan se vzorky, vpravo detail exponovaných vzorků

## 10 Závěr

Cílem práce bylo posoudit vliv korozního prostředí na mechanické vlastnosti současných, ekologicky šetrných nátěrových systémů, a ověřit, jakou ochranu tyto systémy poskytují ocelovému povrchu. Zástupcem moderních nátěrových systémů byl zvolen systém založený na epoxidovém základu obsahujícím zinkový prach, vysokosušinové epoxidové mezivrstvě s antikorozními pigmenty a akrylpolyuretanové krycí vrstvě. Vytvrzený nátěrový systém se před provedením vlastních korozních zkoušek vyznačoval velmi dobrou odtrhovou pevností s hodnotami v rozmezí 7 až 10 MPa. Při zanedbání lomů v lepidle byla nejslabším článkem jednoznačně přilnavost mezi vrchním nátěrem a druhou mezivrstvou. Při křížovém řezu nebylo zjištěno žádné odlupování nebo odpadávající nátěr, což podtrhuje dobrou adhezi i kohezi jednotlivých vrstev nátěrového systému krátce po jeho aplikaci.

V průběhu korozních zkoušek se v nátěrovém systému objevil jen velmi malý počet puchýřků s velikostí nepřesahující 5 mm. Jednalo se o nepravidelně rozložené defekty, které po ukončení zkoušek pokrývaly necelé 0,4 % hodnocené plochy, v případě zrychlené ponorové zkoušky dokonce pouze 0,1 % hodnocené plochy. Při zkouškách nebyla zaznamenána rez pronikající na povrch nebo viditelné podkorodování, nebyla zjištěna delaminace podél řezu ani puchýřkování v jeho okolí. U korozní zkoušky solnou mlhou se až v samotném závěru zkoušky objevila koroze na velmi malé ploše podél řezu. Zvolený nátěrový systém vykazoval velmi dobrou korozní odolnost v obou prostředích.

Při zkouškách křížovým řezem, provedených na vzorcích vystavených koroznímu působení, nebyla zaznamenána žádná změna v přilnavosti ani soudržnosti nátěrového systému. Odtrhová zkouška však odhalila značný pokles odtrhové pevnosti. Zatímco průměrná hodnota odtrhové pevnosti u referenčních vzorků činila 8,5 MPa, po ukončených korozních zkouškách se pohybovala na pouhých 35 % respektive 38 % referenční hodnoty. Ke ztrátě přilnavosti došlo ve všech případech výhradně mezi ocelovým substrátem a základní nátěrovou hmotnou.

Korozní namáhání při zkouškách v umělých atmosférách se samozřejmě odlišuje od korozního působení v přirozených podmínkách. Dosažené výsledky nelze paušálně aplikovat na každé korozní prostředí. Provedené korozní zkoušky však poukázaly na možnou slabinu daného nátěrového systému, na nepříznivý vliv agresivního korozního prostředí na jeho mechanické vlastnosti, zejména na adhezi povlaku základní epoxidové vrstvy k podkladovému kovu.

## 11 Seznam použité literatury

1. MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 1995. 151 s. ISBN 80-7078-267-6.
2. PODJUKLOVÁ, J. *Speciální technologie povrchových úprav I*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1997. 71 s. ISBN 80-7078-235-8.
3. KRAUS, V. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská universita v Plzni, 2000. 216 s. ISBN 80-7082-668-1.
4. KUBÁTOVÁ, H., M. SVOBODA, J. BENEŠOVÁ a J. JARUŠEK. *Nátěry kovů*. Praha: Grada Publishing, spol. s r. o., 2000. 104 s. ISBN 80-247-9035-1.
5. NĚMCOVÁ, A. a B. PACAL. *Korozní zkoušení kovových materiálů* [online]. Brno, 2010 [cit. 2012-02-07]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/oporakoroze4/index.html>
6. ŠULC, R. *VIII. Koroze* [online]. Praha, 2008 [cit. 2012-02-07]. Dostupné z: [http://www.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/CH\\_predn13-Ko.pdf](http://www.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/CH_predn13-Ko.pdf)
7. *ISO 8501-1 Pictorial Standards of Cleanliness* [online]. 2006 [cit. 2012-02-07]. Dostupné z: <http://www.satactics.com/>
8. ČSN EN ISO 12944-4. *Nátěrové hmoty - Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy - Část 4: Typy povrchů podkladů a jejich příprava*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
9. ČSN EN ISO 8501-1. *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu – Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
10. ČSN ISO 8502-3. *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu – Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání (metoda snímání samolepící páskou)*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
11. ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
12. ČSN EN ISO 2808. *Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
13. ČSN EN ISO 9227. *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

14. ČSN 67 3087. *Laboratorní zkoušky ochranné účinnosti nátěrů na kovech. Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěrů proti podkorodování (postup podle Machu a Schiffmana)*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1981.
15. ČSN EN ISO 16276-1. *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 1: Odtrhová zkouška*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
16. ČSN EN ISO 16276-2. *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
17. ČSN EN ISO 4628-1. *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 1: Obecný úvod a systém klasifikace*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
18. ČSN EN ISO 4628-2. *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
19. ČSN EN ISO 4628-3. *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 3: Hodnocení stupně prorezavění*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
20. ČSN EN ISO 4628-8. *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
21. *U. S. Steel Košice, s. r. o.* [online]. © 2005 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://www.usske.sk/products/cat-s/hot-roll/special/enameling.html>
22. *UNIMETRA spol. s r.o.* [online]. © 2008 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: [http://www.unimetra.cz/soubory\\_zbozi/80\\_1.pdf](http://www.unimetra.cz/soubory_zbozi/80_1.pdf)
23. *Gamin s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.gamin.cz/soubory/1428.pdf>



## **12 Seznam příloh**

Příloha A	Fotodokumentace nátěrových systémů exponovaných v korozní komoře
Příloha B	Fotodokumentace nátěrových systémů při zrychlené ponorové zkoušce
Příloha C	Technické listy použitých nátěrových hmot